

鳊对葡萄糖和糊精利用差异比较研究

任萍 梁旭方 方刘 何珊 肖倩倩 史登勇

COMPARATIVE STUDY OF THE DIFFERENCE IN GLUCOSE AND DEXTRIN UTILIZATION IN THE CHINESE PERCH (*SINIPERCA CHUATSI*)

REN Ping, LIANG Xu-Fang, FANG Liu, HE Shan, XIAO Qian-Qian, SHI Deng-Yong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2020.044>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

异亮氨酸对鳊mTOR信号通路及氮代谢影响

EFFECT OF ISOLEUCINE ON mTOR SIGNALING PATHWAY AND NITROGEN METABOLISM OF CHINESE PERCH (*SINIPERCA CHUATSI*)

水生生物学报. 2018, 42(5): 879–886 <https://doi.org/10.7541/2018.108>

禁食与胰岛素处理对鳊血糖和 $leptin$ -A基因表达的影响

EFFECTS OF FASTING AND INSULIN TREATMENT ON BLOOD GLUCOSE AND *LEPTIN*-A GENE EXPRESSION IN CHINESE PERCH

水生生物学报. 2019, 43(2): 259–263 <https://doi.org/10.7541/2019.032>

γ -氨基丁酸对鳊摄食和食欲的影响

EFFECTS OF γ -AMINOBUTYRIC ACID ON FOOD INTAKE AND APPETITE IN MANDARIN FISH *SINIPERCA CHUATSI*

水生生物学报. 2017, 41(6): 1311–1317 <https://doi.org/10.7541/2017.162>

饲料糖水平对大黄鱼生长和糖代谢的影响

EFFECTS OF DIETARY CARBOHYDRATE ON GROWTH PERFORMANCE AND GLYCOMETABOLISM OF LARGE YELLOW CROAKER *LARIMICHTHYS CROCEA*

水生生物学报. 2017, 41(2): 265–276 <https://doi.org/10.7541/2017.33>

鳊春季、夏季和秋季按季节人工繁育模式的研究

STUDY ON ARTIFICIAL PROPAGATION MODES OF MANDARINFISH (*SINIERCA CHUATSI*) IN SPRING, SUMMER AND AUTUMN BY SEASONS

水生生物学报. 2019, 43(6): 1246–1252 <https://doi.org/10.7541/2019.148>

浅水湖泊人工繁育鳊放养规格对其成活、生长和产量的影响

EFFECTS OF RELEASE SIZE ON SURVIVAL, GROWTH AND YIELD OF HATCHERY-REARED MANDARIN FISH STOCKED IN A SHALLOW YANGTZE LAKE

水生生物学报. 2018, 42(6): 1163–1168 <https://doi.org/10.7541/2018.142>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2020.044

鳊对葡萄糖和糊精利用差异比较研究

任萍^{1,2} 梁旭方^{1,2} 方刘³ 何珊^{1,2} 肖倩倩^{1,2} 史登勇⁴

(1. 华中农业大学水产学院, 华中农业大学鳊鱼研究中心, 武汉 430070; 2. 农业部鳊鱼育种创新基地, 农业部淡水生物繁育重点实验室, 武汉 430070; 3. 长江大学动物科学学院, 荆州 434025; 4. 湖北省水产良种试验站, 武汉 430070)

摘要: 研究通过比较鳊(*Siniperca chuatsi*)对不同碳水化合物利用差异, 探究肉食性鱼类对碳水化合物利用的分子机制。按照1670 mg/kg剂量对鳊灌喂葡萄糖和糊精后, 分别在0、1h、2h、3h、4h、8h、12h和24h收集水样、血浆、肝脏和肌肉, 检测尿糖、血糖、血甘油三酯、血胰岛素、肝糖原、肌糖原含量及糖代谢相关基因表达水平等指标。结果显示: (1) 灌喂后1—12h内, 两组鳊相比, 葡萄糖组尿糖显著高于糊精组, 血糖及胰岛素含量在两组间无显著差异; (2) 两组鳊甘油三酯含量在2h时达到最大值, 糊精组甘油三酯含量在4h时显著高于葡萄糖组, 糊精组肝糖原含量在1h时显著高于葡萄糖组, 且糊精组肌糖原含量在24h内均显著高于葡萄糖组; (3) 灌喂后1h, 灌喂糊精组葡萄糖激酶(Glucokinase, GK)、脂肪酸合成酶(Fatty Acid Synthetase, FAS)、乙酰辅酶A羧化酶I型(Acetyl-CoA Carboxylase Type I, ACC1)、柠檬酸合成酶(Citroyl Synthetase, CS)基因表达水平显著高于葡萄糖组, 而在灌喂后8h, 糊精组糖原合酶(Glycogen Synthase, GS)和CS基因表达水平却显著低于葡萄糖组。结果表明, 肉食性鱼类摄入糖后可以促进糖原和脂肪的合成, 转化为糖原和甘油三酯, 从而减少未利用糖的排出, 且鳊对葡萄糖的利用效率低于糊精。

关键词: 糖代谢; 鳊; 葡萄糖; 糊精; 灌喂

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)02-0364-08

糖作为鱼类经济高效的能量来源之一, 饲料中提供足够多的碳水化合物可以减少蛋白质的分解供能, 增加蛋白质的保留率^[1, 2]。大多数鱼类可以通过增加饮食中脂质和碳水化合物的比例来提高蛋白质利用效率^[3, 4]。然而, 饲料中过多的碳水化合物会加重鱼体负担, 鱼体会将多余的碳水化合物排出体外而造成浪费。鱼类利用糖的能力存在物种差异^[5, 6], 肉食性鱼类对碳水化合物的利用能力低于杂食性和草食性鱼类。在不减少鱼类生长的情况下, 黄尾鱼(*Caranx malabaricus*)饲料中最大糊精添加水平是10%, 红鲷(*Pagrus major*)是20%, 而鲤(*Cyprinus carpio*)是30%^[7]。大多数肉食性鱼类表现出糖不耐受^[8-10], 葡萄糖摄入后出现持续高血糖现象^[11-13]。然而, 肉食性鱼类不能高效利用碳水化合物的分子机制尚不清楚。鱼类对不同形式碳水化

合物的利用能力亦存在差异, 对多糖和寡糖的利用要好于单糖和二糖^[14-17], 这可能与糖分子的结构有关^[18-20]。葡萄糖是自然界分布最广的单糖, 糊精是-型多糖, 已有研究表明白鲟(*Acipenser transmontanus*)^[21]、鲢(*Ictalurus punctatus*)^[9]、鲤^[22]、罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[23]对糊精的利用比葡萄糖好。因此, 鱼类对不同形式糖类利用差异的原因有待进一步研究。

鳊(*Siniperca chuatsi*)是典型的肉食性鱼类, 在自然条件下以活鱼虾为食, 梁旭方团队研究了鳊驯食机理, 经驯化后可接受人工饲料, 是研究肉食性鱼类碳水化合物利用机制的优良模型^[24-26]。灌喂方法对鱼的刺激性小, 可以准确反映鱼对糖的耐受性^[27], 据报道, 研究鱼类对碳水化合物的利用能力可以用灌喂方法^[11, 13, 28]。本研究采用灌喂法比较

收稿日期: 2019-01-09; 修订日期: 2019-09-17

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-46); 武汉市青年科技晨光计划(2017050304010318); 国家自然科学基金面上项目(31772822)资助 [Supported by the China Agriculture Research System (CARS-46); Wuhan Morning Light Plan of Youth Science and Technology (2017050304010318); the National Natural Science Foundation of China (31772822)]

作者简介: 任萍(1992—), 女, 四川南充人; 硕士研究生; 研究方向为鱼类营养与生理。E-mail: 1067706873@qq.com

通信作者: 梁旭方(1965—), 男, 博士, 教授; 研究方向为鱼类营养和摄食调控及饲料利用遗传改良。E-mail: xufang_liang@hotmail.com

研究鳊对葡萄糖和糊精的代谢差异, 检测尿糖、血糖、血胰岛素、血甘油三酯、肝糖原和肌糖原含量及糖代谢相关基因表达水平。通过比较肉食性鱼类对不同碳水化合物利用差异, 有助于更好地了解肉食性鱼类对碳水化合物利用的分子机制。

1 材料与方法

1.1 试验鱼及养殖条件

本试验中使用的鳊购自湖北省麻城市浮桥河水库。试验开始前, 将64尾鳊(200±5) g 放在华中农业大学养殖基地350 L鱼缸中, 进行为期4周的暂养。在此期间, 每天根据鳊体重的3%—5%投喂麦鲢(*Cirrhinus mrigala*)。水温维持在(25±1)℃, pH 7.11—7.59, 溶氧为7.26—7.86 mg/L, 氨氮及亚硝酸盐<0.1 mg/L。

1.2 灌喂碳水化合物和样品采集

在试验开始前, 将鳊分成两组, 禁食24h, 并用200 mg/L MS-222麻醉。使用装有塑料管的注射器以1670 mg/kg^[11, 22, 29]剂量灌喂葡萄糖或糊精, 将鱼放回原来的养殖鱼缸中, 灌喂参照文献报道方法^[11]。两组均灌喂32尾鳊, 灌喂后于0、1h、2h、3h、4h、8h、12h和24h各个时间点每组均取4尾鳊并尾静脉抽血, 并收集水样, 室温下, 4500×g离心5min以分离血浆。解剖鱼体, 取0.2 g的肌肉和肝脏于液氮中速冻并保存在-80℃。通过葡萄糖氧化酶-过氧化物酶法测量血糖及水体中糖含量(尿糖含量)。通过碱消化法测量肝糖原和肌糖原含量。通过酶比色法测量甘油三酯含量。通过酶联免疫法检测血胰岛素。试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.3 相关基因表达水平检测

根据Promega公司提供的RNA提取说明书提取组织RNA, 并通过多功能酶标仪(BioTek)检测2 L RNA浓度。使用逆转录酶(购自Takara公司)将1 μg RNA逆转录成cDNA。核糖体蛋白L13a (Ribosomal protein L13a, *rpl13a*)作为内参基因, 采用实时荧光定量RT-qPCR的方法检测鳊肝脏中的葡萄糖激酶(Glucokinase, *GK*)、脂肪酸合成酶(Fatty Acid Synthetase, *FAS*)、乙酰辅酶A羧化酶 I 型(Acetyl-CoA Carboxylase Type I, *ACC1*)、磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶(Phosphoenolpyruvate Carboxykinase, *PEPCK*)、糖原合酶(Glycogen Synthase, *GS*)、柠檬酸合成酶(Citrolyl synthetase, *CS*)以及鳊肌肉中的糖原合酶(Glycogen Synthase, *GS*)基因的相对表达水平。Real Time PCR扩增反应反应体系为: 10 μL AceQ[®] qPCR SYBR[®] Green Master Mix(诺唯赞, 南

京)、1 μL cDNA、0.4 μL Forward Primer(10 mmol/L)、0.4 μL Reverse Primer(10 mmol/L)、8.2 μL ddH₂O。反应液的配制在冰上进行, 反应程序为: 95℃, 30s; 95℃, 5s; 40×cycles; 58℃, 30s; 72℃, 30s; 溶解曲线: 65—95℃, 每上升0.5℃ 停留5s。使用Primer Primer 5.0软件设计荧光定量引物, 引物序列^[30]示于表1中。在每个时间点设置4个生物学重复, 并为每个样品设置3个技术重复。

1.4 数据分析

使用SPSS 18.0软件(SPSS, 美国芝加哥)评估数据的正态性, 同一时间点不同组间采用独立样本 t 检验, 同一组内不同时间点采用单因素方差分析(one-way ANOVA)来判断平均值间的显著性。通过2^{-ΔΔC_t}分析获得基因的相对表达水平, 结果采用平均值±标准误的形式表示, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 灌喂不同碳水化合物对鳊尿糖及血糖的影响

鳊经灌喂葡萄糖后尿糖含量在1—12h内迅速增加且各个时间点均显著高于灌喂前水平, 在8h达到最大值是0.467 mg/(kg·h), 随后开始下降, 并在24h时降至灌喂前水平且含量是0.101 mg/(kg·h), 而灌喂糊精组鳊尿糖含量仅在灌喂后8h显著高于其他各个时间点及灌喂前水平, 表明鳊对不同碳水化

表1 本研究实时定量PCR引物

基因 Gene	引物序列Sequence of primer (5'—3')	片段长度Product length (bp)	退火温度 T_m (°C)
<i>RPL13A</i>	CACCCTATGACAAGA GGAAGC TGTGCCAGACGCCCA AG	100	59
<i>GK</i>	AAGGTGGAGACCAA GAAC TGCCCTTGTCATGT CC	170	51.5
<i>FAS</i>	ATGGAAATCACCCCT GTAATCTT CTTATCTGACTACGG AATGAATCG	203	57
<i>ACC1</i>	TATGCCCACTTACCC AAATGC TGCCACCATAACCAAT CTCGTT	129	58
<i>PEPCK</i>	CTGAGTTTGTGAAGA GAGCGG GTCCTTTGGGTCTGT GCGT	170	57
<i>GS</i>	TACACTGCCTGACCA AGACC AATGTGGCTGGAGAC GAAT	115	54
<i>CS</i>	GAATGCCACCTACTT CCTTGT CCCCTCATACCTCCA TAAACC	166	57

合物表现出不同的尿糖情况。此外,灌喂葡萄糖组的鳊尿糖含量在1h、2h、3h、4h、8h和12h时极显著高于糊精组($P<0.01$,图1A),葡萄糖组鳊血糖含量先升高再降低,在2h时达到最大值,在24h降至最小值,血糖值在2h和24h两个时间点有显著差异($P<0.05$),但与灌喂前水平相比,无显著差异。灌喂糊精组鳊血糖含量在24h内各个时间点均无显著差异($P>0.05$,图1B)。然而,在灌喂后24h内每个时间点,两组之间血糖水平没有显著差异($P>0.05$,图1B)。

2.2 灌喂不同碳水化合物对鳊血胰岛素、血甘油三酯、肝糖原及肌糖原的影响

灌喂不同碳水化合物后,鳊血胰岛素变化趋势一致。葡萄糖组和糊精组鳊在灌喂后24h内,血糖

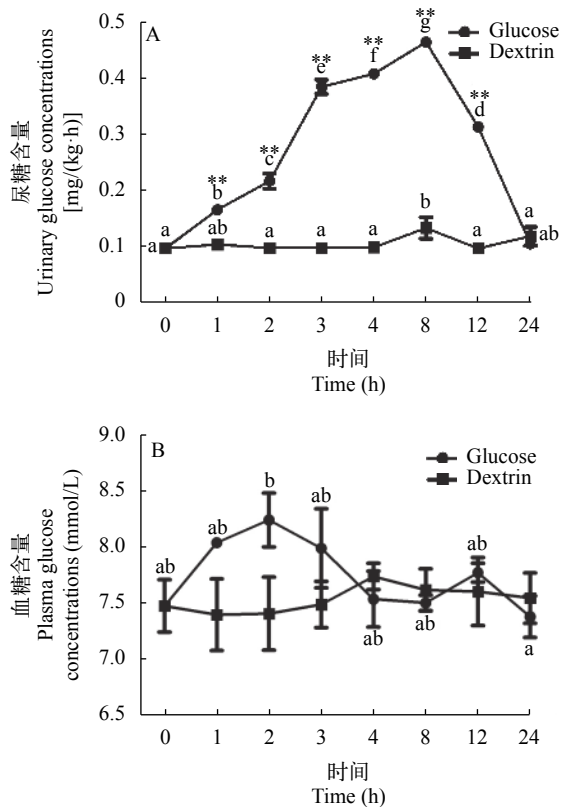


图1 灌喂不同碳水化合物对鳊尿糖及血糖含量的影响

Fig. 1 Effects of the oral administration of different carbohydrates on the urine glucose and plasma glucose concentrations in Chinese perch

数据表示为平均值±标准误($n=4$),星号(*)表示同一时间点两组之间显著差异($P<0.05$);不同字母表示两组分别在各个时间点有显著性差异($P<0.05$);下同

Data are presented as the mean±SEM ($n=4$). The significance level is marked with an asterisk ($P<0.05$) and shows significant differences following feeding with different carbohydrates at the same time ($P<0.05$); different letters indicate significant differences in the same group at various times ($P<0.05$). The same applies below

胰岛素在各个时间点之间均无显著差异($P>0.05$),在24h内每个时间点两组鳊血胰岛素含量相比,均无显著差异($P>0.05$,图2A)。此外,两组鳊血甘油三酯含量变化趋势相似,均是先升高再降低。两组鳊均在灌喂后2h达到最大值且显著高于灌喂前水平($P<0.05$),但与其他各个时间点相比,无显著差异($P>0.05$),2h以外的其它时间点与灌喂前水平相比无显著差异($P>0.05$,图2B)。

在灌喂不同碳水化合物后24h内,两组肝糖原含量先增加后减少。葡萄糖组的肝糖原含量在灌喂后1—12h各个时间点均显著高于灌喂前水平,4h时达最大值42.43 mg/g,24h时降至灌喂前水平($P<0.05$,图2C)。而糊精组鳊肝糖原含量在8h时达最大值(58.61 mg/g)并显著高于4h时的肝糖原含量($P<0.05$),但4h和8h时肝糖原含量各自与各个时间点相比,无显著差异,且灌喂后24h内各个时间点均显著高于灌喂前水平,在1h时,葡萄糖组肝糖原含量显著低于糊精组($P<0.05$,图2C)。此外,葡萄糖组肌糖原含量变化缓慢,24h时显著高于灌喂前水平及灌喂后的1—4h($P<0.05$,图2D)。糊精组肌糖原含量在灌喂后1—24h内各个时间点均显著高于灌喂前水平($P<0.05$,图2D),但各个时间点之间均无显著差异($P>0.05$)。在灌喂后24h内的每个时间点,葡萄糖组的肌糖原含量显著低于糊精组($P<0.05$,图2D)。

2.3 灌喂不同碳水化合物对鳊糖脂代谢相关基因的影响

鳊经灌喂不同碳水化合物后,糖脂代谢相关基因表达水平变化趋势相似,均是先升高后降低。葡萄糖组*GK*(葡萄糖激酶)基因相对表达水平在4h时达到最大值,显著高于灌喂前水平及灌喂后其他各个时间点($P<0.05$),而糊精组*GK*基因相对表达水平在8h时达到最大值,显著高于灌喂前水平及灌喂后1h、2h、3h、12h和24h时*GK*基因相对表达值($P<0.05$,图3A)。两组鳊*FAS*(脂肪酸合成酶)基因相对表达量在24h内各个时间点均无显著差异($P>0.05$,图3B)。葡萄糖组鳊*ACC1*(乙酰辅酶A羧化酶I型)基因相对表达值在12h时显著高于灌喂前水平及1h和2h($P<0.05$),糊精组鳊*ACC1*基因相对表达值在4h和24h显著高于灌喂前水平($P<0.05$,图3C)。葡萄糖组*PEPCK*(磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶)基因相对表达值在12h和24h时显著高于灌喂后1h、2h和3h($P<0.05$,图3D),却与灌喂前水平无显著差异,而糊精组*PEPCK*基因相对表达值在24h内无显著差异($P>0.05$,图3D)。葡萄糖组*GS*(糖原合酶)在8h时显著高于灌喂前水平及24h内各个时间

点($P<0.05$), 而糊精组GS在4h和12h时显著高于灌喂前水平及1h和3h ($P<0.05$, 图 3E)。葡萄糖组中CS(柠檬酸合成酶)基因表达水平在4h时显著高于灌喂前水平及其1h、2h和3h ($P<0.05$), CS最大值在8h时出现, 且显著高于灌喂前水平及24h内各个时间点, 而糊精组CS在24h内各个时间点无显著差异 ($P>0.05$, 图 3F)。此外, 不同碳水化合物灌喂鳊1h时, 葡萄糖组中GK、FAS和ACC1相对基因表达水平显著低于糊精组($P<0.05$)。然而, 两个组PEP-CK基因表达水平在灌喂后24h内各个时间点均无显著差异($P>0.05$)。在灌喂后8h时, 葡萄糖组中GS基因表达量显著高于糊精组($P<0.05$)。此外, 葡萄糖组中CS基因表达水平在1h显著低于糊精组 ($P<0.05$), 然而, 葡萄糖组中CS在8h和12h显著高于糊精组($P<0.05$)。

3 讨论

与肉食性鱼类不同, 草食和杂食性鱼类能更好地利用碳水化合物, 表现出较低的餐后血糖和较高的糖耐受能力^[8, 31]。因此, 本论文研究肉食性鱼类鳊对不同碳水化合物(葡萄糖和糊精)的利用差异。

已有研究表明肉食性鱼类摄入含糖食物后血糖水平持续升高^[22], 鲤的血糖恢复到摄食前水平需要5h^[10], 草鱼需要10h^[28]。然而, 本研究发现鳊经灌喂葡萄糖后3h时已降至灌喂前水平, 而糊精组鳊血糖水平在灌喂后24h内未发生较大波动(图 1B)。葡萄糖属于单糖, 易于吸收, 鳊经灌喂葡萄糖后, 血糖含量迅速升高, 3h时已降至灌喂前水平, 表明葡萄糖组鳊降低高血糖的能力较强, 这与石斑鱼对高血糖的应答情况相似^[29]。而糊精组鳊摄入糖后不会改变血糖水平, 推测糖主要以其他形式进行代谢。参与维持鳊恒定血糖水平的途径可能包括糖代谢相关酶活性及基因表达、胰岛素内分泌调控等^[32, 33]。

胰岛素作为一种多功能肽激素, 可促进糖的利用和转化, 抑制糖异生和降低血糖水平^[34]。摄入糖后, 大鳞大马哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)^[10]和石斑鱼(*Epinphelus coioides*)血胰岛素水平下降, 血糖水平升高。与恒定血糖水平相适应, 本研究发现血胰岛素水平在灌喂葡萄糖或糊精后24h内亦未发生变化(图 2A), 欧洲海鲈(*Dicentrarchus labrax*)中也发现了类似的结果^[35]。

灌喂葡萄糖后鳊尿糖水平显著高于糊精组(图 1A),

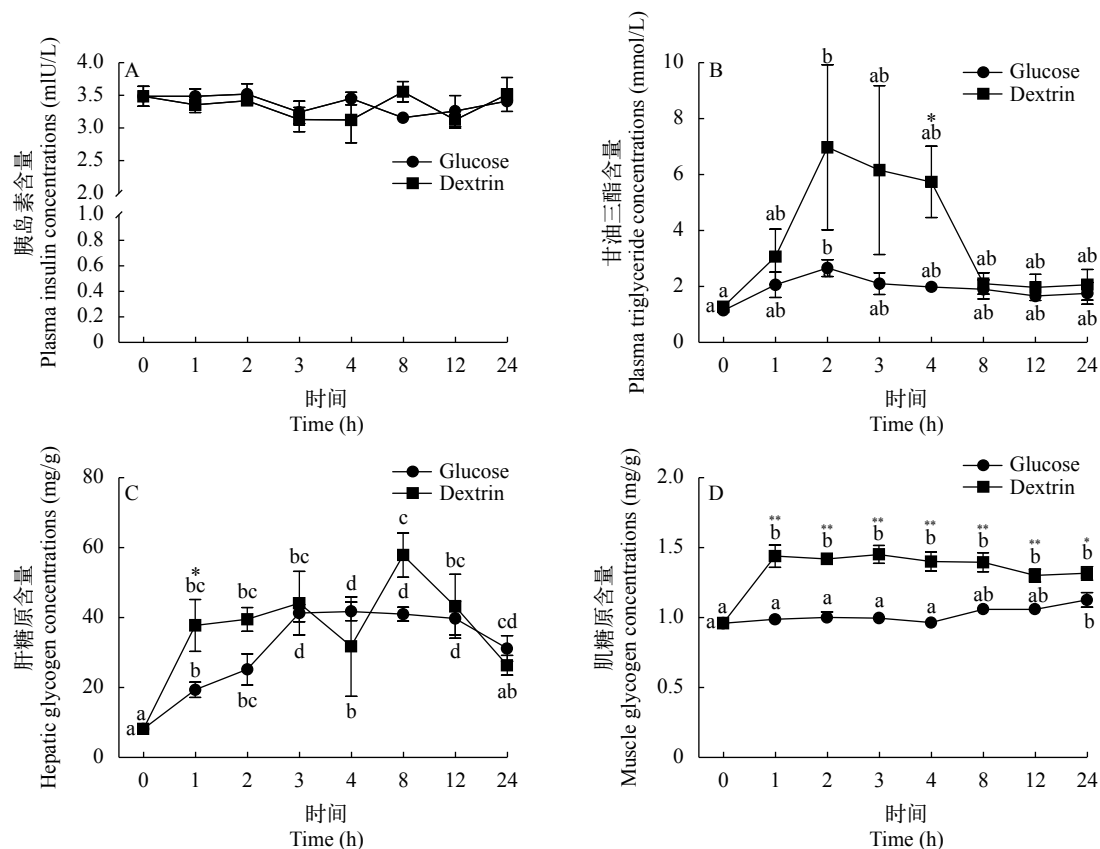


图2 灌喂不同碳水化合物对鳊血胰岛素、血甘油三酯、肝糖原及肌糖原含量的影响

Fig. 2 Effects of the oral administration of different carbohydrates on insulin, triglycerides, hepatic glycogen and muscle glycogen in Chinese perch

且葡萄糖组鳊在灌喂后1—12h内各个时间点均显著高于灌喂前水平,表明鳊摄入的葡萄糖会通过尿排出体外,而摄入糊精后通过尿排出较少。考虑到碳水化合物其他代谢途径,本研究也检测了肝糖原和肌糖原含量。肝脏和肌肉是葡萄糖以糖原形式储存在体内的两个主要器官,大量研究表明鱼类摄入糖后肝糖原和肌糖原水平显著升高^[8,27]。本研究发现,葡萄糖组鳊肝糖原含量在灌喂后1—12h内各个时间点均显著高于灌喂前水平,而糊精组鳊肝糖原含量在灌喂后1—24h内各个时间点均显著高于灌喂前水平,在1h时葡萄糖组肝糖原水平显著低于糊精组,其他时间点没有显著差异(图2C)。葡萄糖

组鳊肌糖原含量在灌喂后24h时均显著高于各个时间点,而糊精组鳊肌糖原含量在灌喂后1—24h内各个时间点均显著高于灌喂前水平,葡萄糖组肌糖原含量在24h内各个时间点均显著低于糊精组(图2D)。以上结果表明,在鳊摄入葡萄糖或糊精后,可转化为肝糖原和肌糖原存储在体内,且糊精的转化能力优于葡萄糖,而不是主要以尿糖的形式排出体外。

已有研究表明鱼类中糖代谢关键酶类基因表达水平受摄食糖水平的影响^[36]。糖原合酶(*GS*)是糖原合成中的关键酶,在肝糖原和肌糖原合成中起重要作用^[37]。本研究中,鳊灌喂葡萄糖8h后,糖原合酶基因表达水平显著高于灌喂糊精组(图3E)这

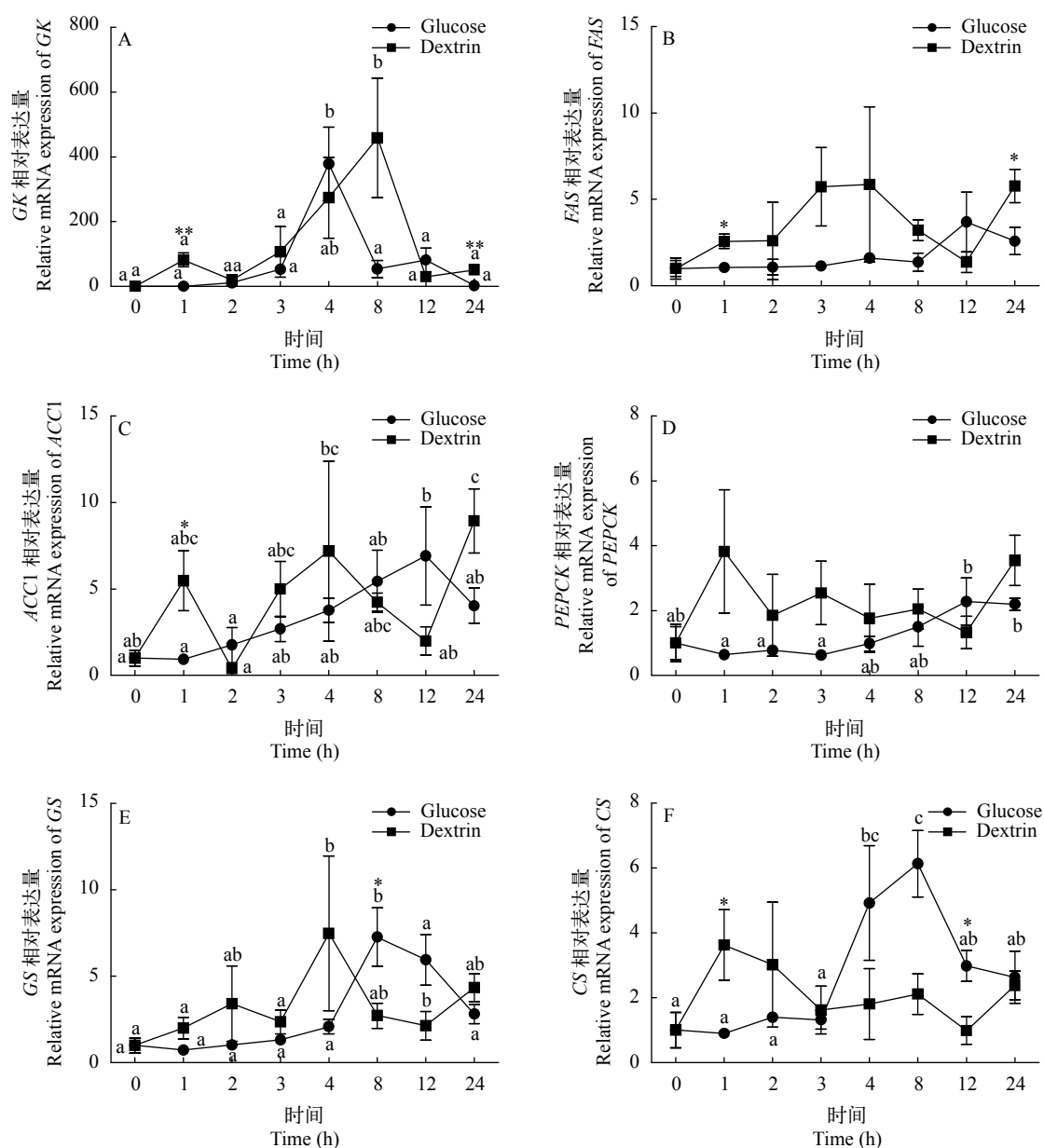


图3 灌喂不同碳水化合物对鳊GK、FAS、ACC1、PEPCK、GS和CS基因表达水平的影响

Fig. 3 The mRNA expression levels of GK, FAS, ACC1, PEPCK, GS and CS in Chinese perch after the oral administration of two different carbohydrates

进一步解释糖原合成增多的原因。葡萄糖激酶(GK)是糖酵解过程中的关键酶,有效催化葡萄糖转化为葡萄糖-6-磷酸,这是糖酵解过程的第一步^[38]。本研究中灌喂葡萄糖1h后,GK基因表达水平显著低于糊精组(图3A),表明鳊对葡萄糖的分解利用好于糊精。柠檬酸合成酶(CS)是三羧酸循环的关键限速酶,葡萄糖组CS基因表达水平在灌喂1h时显著低于糊精组,灌喂8h和12h时却显著高于糊精组(图3F)。磷酸烯醇式丙酮酸激酶(PEPCK)是糖异生过程中的关键酶,鳊灌喂两种不同形式碳水化合物后,葡萄糖组鳊PEPCK基因表达水平在12h和24h时显著高于灌喂前水平,而糊精组PEPCK基因表达水平并未表现出差异(图3D),表明葡萄糖对鳊糖异生的作用优于糊精。这与锦鲤(*Cyprinus carpio*)和红鲮中的研究结果相似^[15]。以上结果表明,鳊可以很好地利用葡萄糖和糊精,并转化为肝糖原和肌糖原存储下来,葡萄糖可以加速鳊体内糖酵解进而而糖异生过程,且作用优于糊精。

在糖进入体内后,不仅可以分解利用,还可与脂代谢发生联系,转化为脂肪。因此,本研究检测了鳊灌喂不同碳水化合物后血甘油三酯水平,发现灌喂葡萄糖和糊精均可促进血甘油三酯合成(图2B),且葡萄糖的促进作用低于糊精。欧洲鲈^[39]、白鲟(*Acipenser transmontanus*)^[12]和异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[40]的研究中亦发现相同结果,糖摄入可促进脂肪的生成。脂肪酸合成酶(FAS)和乙酰辅酶A羧化酶I型(ACC1)是脂肪酸合成过程中关键的催化酶,葡萄糖组FAS和ACC1基因表达水平在灌喂后1h时显著低于糊精组(图3B和图3C),因此,葡萄糖和糊精的摄入可以有效激活脂肪酸合成代谢,促进糖转化为脂肪,而减少未利用糖以尿糖形式排出,且葡萄糖的促进作用低于糊精。

综上所述,肉食性鱼类鳊对不同形式碳水化合物表现出不同的代谢效率,摄入糖后可以促进糖原和脂肪的合成,转化为糖原和甘油三酯,从而减少未利用糖的排出,且鳊对葡萄糖的利用低于糊精。本论文为比较研究不同食性鱼类糖代谢利用的分子机制,提供了理论依据。

参考文献:

- [1] Suarez R K, Mommsen T P. Gluconeogenesis in teleost fishes [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1987, **65**(8): 1869-1882.
- [2] Cowey C B, Walton M J. Intermediary metabolism [C]. Halver J E. Fish Nutrition. New York: Academic Press, 1989: 259—329.
- [3] Cho C Y, Kaushik S J. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Nutrition Diet*, 1990, **61**(1): 132-172.
- [4] Kaushik S J, Médale F. Energy requirements, utilization and dietary supply to salmonids [J]. *Inpharma Weekly*, 1997, **1069**(1): 10.
- [5] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. *Aquaculture*, 1994, **124**(1-4): 67-80.
- [6] Hutchins C G, Rawles S D, Gatlin D M III. Effects of dietary carbohydrate kind and level on growth, body composition and glycemic response of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops*♀×*M. saxatilis*♂) [J]. *Aquaculture*, 1998, **161**(1-4): 187-199.
- [7] Millikin M R. Qualitative and quantitative nutrient requirements of fishes: a review [J]. *Fishery Bulletin United States National Marine Fisheries Service*, 1982, **80**(1): 655-696.
- [8] Moon T W. Glucose intolerance in teleost fish: fact or fiction [J]? *Comparative Biochemistry & Physiology Part B Biochemistry & Molecular Biology*, 2001, **129**(2): 243-249.
- [9] Wilson R P, Poe W E. Apparent inability of channel catfish to utilize dietary mono- and disaccharides as energy sources [J]. *Journal of Nutrition*, 1987, **117**(2): 280.
- [10] Mazur C N, Higgs D A, Plisetskaya E, et al. Utilization of dietary starch and glucose tolerance in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) of different strains in seawater [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1992, **10**(4): 303-313.
- [11] Deng D F, Refstie S, Hemre G I, et al. A new technique of feeding, repeated sampling of blood and continuous collection of urine in white sturgeon [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, **22**(3): 191-197.
- [12] Deng D F, Refstie S, Hung S S. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates [J]. *Aquaculture*, 2001, **199**(1): 107-117.
- [13] Legate N J, Bonen A, Moon T W. Glucose tolerance and peripheral glucose utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), American eel (*Anguilla rostrata*), and black bullhead catfish (*Ameiurus melas*) [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2001, **122**(1): 48-59.
- [14] Enes P, Peres H, Couto A, et al. Growth performance and metabolic utilization of diets including starch, dextrin, maltose or glucose as carbohydrate source by gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2010(36): 903-910.
- [15] Ma A J, Chen S Q, Lei J L, et al. Influences of the main energy matter in feed on the growth of young turbot, *Scophthalmus maximus* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, **32**(5): 527-533. [马爱军, 陈四清, 雷霖霖, 等. 饲料中主要能量物质对大菱鲆幼鱼生长的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 2001, **32**(5): 527-533.]
- [16] Nie Q, Miao H J, Miao S Y, et al. Effects of dietary car-

- bohydrate sources and levels on the activities of carbohydrate metabolic enzymes in turbot [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(3): 425-433. [聂琴, 苗惠君, 苗淑彦, 等. 不同糖源及糖水平对大菱鲆糖代谢酶活性的影响 [J]. *水生生物学报*, 2013, **37**(3): 425-433.]
- [17] Gao Y, Li J H, Fang Z Z, *et al.* Effects of dietary dextrin level on growth and carbohydrate metabolism of ukrainian scaly carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, **27**(5): 1401-1410. [高妍, 李静辉, 方珍珍, 等. 饲料中糊精水平对乌克兰鳞鲤生长及糖代谢的影响 [J]. *动物营养学报*, 2015, **27**(5): 1401-1410.]
- [18] Enes P, Panserat S, Kaushik S, *et al.* Rapid metabolic adaptation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles fed different carbohydrate sources after heat shock stress [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 2006(145): 73-81.
- [19] Lee S M, Kim K D, Lall S P. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 2003(221): 427-438.
- [20] Tan Q, Xie S Q, Zhu X, *et al.* Effect of dietary carbohydrate sources on growth performance and utilization for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006(12): 61-70.
- [21] Hung S S. Carbohydrate utilization by white sturgeon as assessed by oral administration tests [J]. *Journal of Nutrition*, 1991, **121**(10): 1600-1605.
- [22] Furuichi M, Yone Y. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream [J]. *Bulletin of the Japanese Society for Scientific Fisheries*, 1982, **48**(7): 945-948.
- [23] Lin S C, Liou C H, Shiau S Y. Renal threshold for urinary glucose excretion by tilapia in response to orally administered carbohydrates and injected glucose [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, **23**(2): 127-132.
- [24] Liang X F, Liu J K, Huang B Y. The role of sense organs in the feeding behaviour of Chinese perch [J]. *Journal of Fish Biology*, 1998, **52**(5): 1058-1067.
- [25] Liang X F, Lin X, Li S, Liu J K. Impact of environmental and innate factors on the food habit of Chinese perch *Siniperca chuatsi* (Basilewsky) (Percichthyidae) [J]. *Aquaculture Research*, 2008, **39**(3): 150-157.
- [26] Liang X F, Oku H, Ogata H Y, *et al.* Weaning Chinese perch *Siniperca chuatsi* (Basilewsky) onto artificial diets based upon its specific sensory modality in feeding [J]. *Aquaculture Research*, 2001, **32**(s1): 76-82.
- [27] Suárez M D, Sanz A, Bazoco J, *et al.* Metabolic effects of changes in the dietary protein: carbohydrate ratio in eel (*Angilla anguilla*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture International*, 2002, **10**(2): 143-156.
- [28] Huang H Z, Ding L, Song X H, *et al.* Comparative research on glucose tolerance between black carp *Mylopharyngodon piceus* and grass carp *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, **12**(4): 496-500. [黄鹤忠, 丁磊, 宋学宏, 等. 青鱼和草鱼葡萄糖耐量的比较研究 [J]. *中国水产科学*, 2005, **12**(4): 496-500.]
- [29] Yang W, Ye J D, Wang K, *et al.* Glucose tolerance in grouper (*Epinphelus coioides*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, **36**(3): 563-568. [杨伟, 叶继丹, 王琨, 等. 斜带石斑鱼经葡萄糖灌喂后的代谢反应 [J]. *水生生物学报*, 2012, **36**(3): 563-568.]
- [30] He S, Liang X F, Sun J, *et al.* Insights into food preference in hybrid F1 of *Siniperca chuatsi* (♀) × *Siniperca scherzeri* (♂) mandarin fish through transcriptome analysis [J]. *BMC Genomics*, 2013, **14**(1): 601.
- [31] Hemre G I, Torrissen O, Krogdahl Å, *et al.* Glucose tolerance in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. dependence on adaptation to dietary starch and water temperature [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, **1**(2): 69-75.
- [32] Hemre G, Mommsen T P, Krogdahl Å. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, **8**(3): 175-194.
- [33] Hemre G I, Hansen T. Utilisation of different dietary starch sources and tolerance to glucose loading in Atlantic salmon (*Salmo salar*), during parrismolt transformation [J]. *Aquaculture*, 1998, **161**(1): 145-157.
- [34] Sundby A, Eliassen K, Refstie T, *et al.* Plasma levels of insulin, glucagon and glucagon-like peptide in salmonids of different weights [J]. *Fish Physiology & Biochemistry*, 1991, **9**(3): 223-230.
- [35] Enes P, Peres H, Sanchezgurmaches J, *et al.* Insulin and IGF-I response to a glucose load in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2011, **315**(3): 321-326.
- [36] Enes P, Panserat S, Kaushik S, *et al.* Effect of normal and waxy maize starch on growth, food utilization and hepatic glucose metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2006, **143**(1): 89-96.
- [37] Kaslow H R, Lesikar D D, Antwi D, *et al.* L-type glyco-gen synthase. Tissue distribution and electrophoretic mobility [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1985, **260**(18): 9953-9956.
- [38] de la Iglesia N, Mukhtar M, Seoane J, *et al.* The role of the regulatory protein of glucokinase in the glucose sensory mechanism of the hepatocyte [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2000, **275**(14): 10597-10603.
- [39] Peres H, Goncalves P, Oliva-Teles A. Glucose tolerance in gilthead seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**(1-4): 415-423.
- [40] Cai C F, Liu Y, Chen L Q, *et al.* Metabolic responses of allogynogenetic gibel carp after oral administration of dif-

ferent doses of glucose [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(6): 602-606. [蔡春芳, 刘影, 陈立侨, 等. 异育

银鲫口服不同剂量葡萄糖后的代谢反应 [J]. *水生生物学报*, 2003, 27(6): 602-606.]

COMPARATIVE STUDY OF THE DIFFERENCE IN GLUCOSE AND DEXTRIN UTILIZATION IN THE CHINESE PERCH (*SINIPERCA CHUATSI*)

REN Ping^{1,2}, LIANG Xu-Fang^{1,2}, FANG Liu³, HE Shan^{1,2}, XIAO Qian-Qian^{1,2} and SHI Deng-Yong⁴

(1. College of Fisheries, Chinese Perch Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Key Lab of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture, Innovation Base for Chinese Perch Breeding, Wuhan 430070, China; 3. School of Animal Science, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;

4. Hubei Province Aquatic Stains Testing Station, Wuhan 430070, China)

Abstract: In this study, we compared the utilization of different carbohydrates in Chinese perch and further explored the molecular mechanism of carbohydrate utilization in carnivorous fish. Water, plasma, liver and muscle samples were collected at 0, 1, 2, 3, 4, 8, 12 and 24h after Chinese perch were fed glucose and dextrin at a 1670 mg/kg dose. The parameters urine sugar, blood glucose, blood triglycerides, blood insulin, and liver and muscle glycogen and the mRNA expression levels of glucose metabolism-related genes were detected. The results showed the following: (1) Within 1—12h after feeding, the blood glucose level was significantly higher in the glucose group than in the dextrin group, while the blood glucose and insulin levels were not significantly different between the two groups. (2) The triglyceride content at 2—4h was higher in the dextrin group than in the glucose group, and the liver glycogen content at 1h was significantly higher in the dextrin group than in the glucose group. Furthermore, the muscle glycogen content at 24h was significantly higher in the dextrin group than in the glucose group. (3) One hour after feeding, the mRNA expression levels of glucokinase (*GK*), fatty acid synthetase (*FAS*), acetyl-CoA carboxylase type I (*ACC1*) and citrate synthase (*CS*) were significantly higher in the dextrin group than in the glucose group, and the expression levels of glycogen synthase (*GS*) and *CS* mRNA at 8h were significantly lower in the dextrin group than in the glucose group. These results demonstrated that the utilization efficiency of dextrin was better than that of dextrose and that the intake of dextrin could promote the synthesis of glycogen and fat.

Key words: Glucose metabolism; *Siniperca chuatsi*; Glucose; Dextrin; Oral administration